

STIMA DELLA RADIAZIONE SOLARE GIORNALIERA IN SICILIA MEDIANTE I DATI DI TEMPERATURA MASSIMA E MINIMA

Giovanni Grillone¹, Carmelo Agnese¹, Francesco D'Asaro¹

¹ Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agro-Forestali, Università di Palermo (IT)

Abstract

La misura della radiazione solare R_s a scala giornaliera, variabile di rilievo in agro-meteorologia, è rilevata generalmente in un numero limitato di stazioni meteorologiche e le relative serie temporali sono poco estese. Al contrario esiste una banca dati molto estesa, sia per numero di stazioni che per consistenza delle serie, di misure di temperatura massima, T_{\max} , e minima, T_{\min} , giornaliera.

Per tale ragione sono state sviluppate diverse formulazioni per la stima di R_s sulla base dei valori di T_{\max} e da T_{\min} . Tra queste la più nota è senz'altro la relazione di Hargreaves-Samani, più volte riveduta e aggiornata dagli autori, mentre di più recente introduzione troviamo le formulazioni di Campbell-Donatelli (1998) e Donatelli-Bellocchi (2001).

Il presente lavoro riguarda il confronto tra queste tre relazioni eseguito sulla scorta dei dati termometrici e radiometrici (periodo 2003-2008) di 36 stazioni agrometeorologiche siciliane.

Introduzione

La stima dell'evapotraspirazione delle colture, o i modelli di simulazione di crescita delle colture richiedono, tra l'altro, la misura a scala giornaliera della cosiddetta radiazione globale, R_s , cioè della radiazione solare "a onde corte", che incide la superficie terrestre. Al contrario di altre grandezze meteorologiche, la rilevazione sistematica di tale grandezza è abbastanza recente, per cui all'attualità si dispone di serie temporali di limitata consistenza e relativamente poco diffuse nel territorio. E' per questo motivo, soprattutto, che negli ultimi anni si è sviluppato un filone di ricerca, volto a ricercare relazioni significative di R_s con altre grandezze.

L'attenuazione che la radiazione solare incidente l'atmosfera esterna, R_{ext} , subisce nel percorso fino al suolo, oltre agli effetti di scattering e assorbimento molecolare sempre presenti, è dovuta alla presenza della copertura nuvolosa; in condizioni di cielo sereno, il rapporto $\tau = R_s/R_{\text{ext}}$, la trasmittanza atmosferica, assume pertanto un valore massimo, τ_{cs} (clear-sky). In presenza della copertura nuvolosa, oltre la trasmittanza, si riduce anche il valore dell'escursione termica, che quindi viene a costituire un valido surrogato della radiazione al suolo. Sia la nota relazione di Hargreaves-Samani, più volte riveduta e aggiornata dagli autori sino alla forma attuale (Samani, 2000), come le formulazioni di Campbell-Donatelli (1998) e Donatelli-Bellocchi (2001), si basano su questa equivalenza.

Al fine di confrontare tra loro tali formulazioni, si sono utilizzati i dati termometrici e radiometrici di 36 stazioni meteo siciliane, gestite dal SIAS (Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano) nel periodo 2003-2008.

Modelli di stima di R_s basati sulla misura della temperatura

Il modello di Hargreaves-Samani (HS) nella versione più recente (Samani, 2000) è descritto dalla semplice equazione:

$$R_s = K_T \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} R_{\text{ext}} \quad (1)$$

dove R_s ed R_{ext} sono misurati in $\text{MJ m}^{-2} \text{g}^{-1}$, T_{\max} e T_{\min} in $^{\circ}\text{C}$ e K_T è un coefficiente empirico pari a:

$$K_T = 0,00185(\overline{T_{\max}} - \overline{T_{\min}})^2 - 0,0433(\overline{T_{\max}} - \overline{T_{\min}}) + 0,4023 \quad (2)$$

dove le medie delle temperature minime e massime sono riferite all'intero periodo di osservazione. La (2) venne ricavata dai dati mensili di 65 stazioni meteorologiche statunitensi, in un territorio compreso tra 7°N e 50°N di latitudine (Samani, 2000).

I modelli di Campbell-Donatelli (CD) e Donatelli-Bellocchi (DB) ricavano R_s indirettamente dalla trasmittanza atmosferica, $R_s = \tau R_{\text{ext}}$

In particolare, nel modello CD, si ha:

$$\tau_i = \tau_{\text{cs}} [1 - \exp(-bf(T_{\text{avg}})\Delta T_i^2)] f(T_{\min}) \quad (3)$$

in cui i è il giorno (giuliano), b è un parametro legato all'escursione termica, $\Delta T_i = (T_{\max,i} - (T_{\min,i} + T_{\min,i+1})/2)$, T_{avg} è la temperatura media giornaliera, $f(T_{\text{avg}}) = 0,017 \exp(\exp(-0,053 T_{\text{avg}}))$, $f(T_{\min}) = \exp(T_{\min,i}/T_{\text{nc}})$, essendo ancora T_{nc} un parametro che tiene conto della temperatura dell'aria nelle notti estive.

Nel modello DB si ha:

$$\tau_i = \tau_{\text{cs}} [1 + f(i)] \left[1 - \exp\left(\frac{-b\Delta T_i^2}{\Delta T_{\text{week}}}\right) \right] \quad (4)$$

in cui ΔT_{week} è l'escursione termica media settimanale (ricavata come media mobile nell'intervallo $(i-3, i+3)$) ed $f(i)$ è una funzione dei due parametri empirici c_1 e c_2 , che tiene conto della variabilità stagionale di τ_{cs} .

Per utilizzare il modello CD è necessaria la taratura dei parametri empirici b e T_{nc} , mentre per il modello DB si richiede la taratura dei parametri b , c_1 e c_2 .

Dati utilizzati nell'indagine

Nell'indagine sono stati utilizzati i valori di T_{\max} , T_{\min} ed R_s registrati nelle stazioni meteorologiche installate dal Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (SIAS) nel periodo 2003-2008.

Dall'intero campione, costituito da 43 stazioni di misura, sono state selezionate le 36 stazioni per le quali i dati mancanti di temperatura T_{\max} e T_{\min} erano minori del 5% e i dati mancanti e/o anomali di R_s erano minori del 20%.

Il dato di R_s è stato considerato valido se compreso nel seguente intervallo (Allen et al., 1998):

$$0,25R_{ext} < R_s < (0,75 + 0,00002H)R_{ext}$$

dove H è la quota della stazione di misura, in m s.l.m.

Risultati

Utilizzando i dati campionari di T_{max} , T_{min} ed R_s del periodo 2003-2007 per le 36 stazioni meteorologiche in esame si è quindi proceduto a:

- verificare la validità della (2) del modello HS;
- stimare i parametri empirici b e T_{nc} del modello CD;
- stimare i parametri empirici b , c_1 e c_2 del modello DB.

Per quanto attiene la verifica della (2) per il modello HS, dopo aver ricavato, per ciascuna stazione meteorologica, il valore empirico K_T^{staz} come media dei valori giornalieri di K_T nell'intero periodo di osservazione:

$$K_T^{staz} = \overline{[R_{obs,i} / (R_{ext,i} \Delta T_i^{0.5})]} \quad (5)$$

in cui $R_{obs,i}$, $R_{ext,i}$ e ΔT_i sono la radiazione solare osservata, la radiazione extraterrestre e l'escursione termica del giorno i , è stata ricavata la relazione regionale K_T , valida nel territorio siciliano:

$$K_T = -0,008(\overline{T_{max}} - \overline{T_{min}}) + 0,2608 \quad (6)$$

La relazione trovata, al contrario di quella suggerita da Samani, è monotona decrescente con l'escursione termica del periodo di osservazione.

Se poi la valutazione dei K_T è effettuata separatamente per la stagione secca ($K_{T,s}$) e per la stagione umida ($K_{T,u}$) con la (5), è stato osservato che, per tutte le stazioni risulta:

$$K_T \cong K_{T,s} \cong K_{T,u} \quad (7)$$

Per la taratura degli altri due modelli CD e DB, si è utilizzato il software RadEst (Donatelli et al., 2004), disponibile nel sito web: <http://www.sipeaa.it/tools>.

Una volta effettuata la taratura dei tre modelli, si è proceduto al confronto, utilizzando i dati termoradiometrici dell'anno solare 2008.

Il confronto è stato eseguito calcolando, per ciascuna stazione, l'RMSE (root mean square error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{obs,i} - R_{mod,i})^2}{n}} \quad (8)$$

in cui $R_{mod,i}$ è la radiazione solare giornaliera stimata dal modello, e valutandone l'efficienza R^2 (Nash e Sutcliffe, 1970):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (R_{obs,i} - R_{mod,i})^2}{\sum_{i=1}^n (R_{obs,i} - \overline{R_{obs}})^2} \quad (9)$$

dove $\overline{R_{obs}}$ è la media dei valori di radiazione misurati. Un valore di R^2 uguale a 1 indica un modello perfetto, un valore pari a 0 indica che utilizzare il modello o il valore medio della variabile osservata è indifferente, mentre

valori negativi indicano che è meglio utilizzare un valore medio della variabile piuttosto che il modello.

I risultati, riportati per tutte le stazioni in tabella 1, mostrano come il modello HS sia un predittore migliore dei modelli CD e DB, sia in termini di RMSE che in termini di R^2 e che i modelli CD e DB mostrano una performance molto simile.

Si può quindi asserire che la stima di R_s , per il territorio siciliano può preferibilmente effettuarsi col modello HS, con K_T calcolato con la (5).

Tab. 1 – Valori medi di RMSE ed R^2 (Nash e Sutcliffe, 1970) ottenuti confrontando i valori di R_s osservati e quelli stimati con i tre modelli HS, CD, DB per le 36 stazioni meteorologiche siciliane nell'anno 2008.

	HS	CD	DB
RMSE	3,04	3,56	3,63
R^2	0,79	0,71	0,70

Conclusioni

In questa indagine si è voluto investigare la performance di tre modelli di stima della radiazione solare giornaliera R_s , che si basano solamente sui dati di temperatura massima T_{max} e minima T_{min} giornaliera: Hargreaves-Samani nella versione più recente (HS, 2000), Campbell-Donatelli (CD, 1998) e Donatelli-Bellocchi (DB, 2001).

I risultati hanno mostrato che il modello HS, opportunamente tarato per il territorio siciliano, sia il migliore predittore di R_s , in confronto ai modelli CD e DB.

Bibliografia

- Abraha, M.G., Savage, M.J., Comparison of estimates of daily solar radiation from air temperature range for application in crop simulations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 401-416, 2008.
- Allen R.G. et al., Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage paper n°56*, Rome, Italy, 1998.
- Bandyopadhyay, A. et al., Estimation of monthly solar radiation from measured air temperature extremes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 1707-1718, 2008.
- Di Lena, B., Acutis, M., Confronto tra stime della evapotraspirazione di riferimento ai fini dell'assistenza tecnica irrigua in Abruzzo. *Atti del Convegno AIAM, Acireale, 6-7 Giugno 2002*: 162-173.
- Donatelli, M., Bellocchi, G., RadEst 3.00: Software per la stima della radiazione solare. *Atti del Convegno AIAM, Milano, 24 Maggio 2001*: 33-43.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V., River flow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10 (3): 282-290, 1970.
- RadEst documentation and model software. <http://www.sipeaa.it/tools>, 2004.
- Rivington, M. et al., Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK stations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 228-243, 2005.
- Samani, Z., Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data (Hargreaves-Samani equation). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4): 265-267, 2000.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (SIAS) per aver fornito i dati termometrici e radiometrici necessari per questo lavoro.